PART5 太陽質量の恒星の一生

目標　太陽程度の質量をもつ恒星の一生について，各段階の名称を挙げて説明できる。

Chapter1　太陽質量の恒星の一生

恒星の一生は，その質量によって大きく異なります。ここでは，太陽と同程度の質量をもつ恒星の一生について学びましょう。

恒星の形成

・**星間物質と星間雲の形成**

おもに水素とヘリウムからなる**星間ガス**と，炭素，氷，ケイ酸塩などの固体微粒子である**星間塵**をあわせて**星間物質**という。

星間物質は，通常 1 個 /cm^3 未満の低密度である。星間物質が周囲より密〔数個 /cm^3 ～ 10^2 個 /cm^3 程度〕な領域を**星間雲**という。

・**分子雲と原始星の形成**

水素がおもに分子の状態で存在している星間雲を**分子雲**という。

分子雲の中心部では分子が自分自身の重力により集まり，密度が 10^2 個 /cm^3 程度から 10^5 個 /cm^3 程度へと上昇する。これにより，重力エネルギーによって輝く天体である**原始星**が形成される。

原始星が形成された時点では周囲の分子雲の密度が大きく，原始星の放射する可視光線を地球から観測することはできない。原始星は，おもに（紫外線 / 赤外線）で観測される。

・**T タウリ型星と原始惑星系円盤**

原始星が形成されて，その周囲の星間物質が減少すると，中心の恒星を可視光線で観測できるようになる。この段階の恒星を **T タウリ型星**という。

また，星間物質が T タウリ型星のまわりを公転することで形成される円盤を**原始惑星系円盤**という。

知っておこう

天文分野では，一部の用語の意味が他の分野と異なっています。特に，高校地学で用いられる用語としては以下のものに注意しましょう。

重力…万有引力のこと。
密度…単位体積あたりの質量のほか，単位体積あたりの個数も表す。

知っておこう

星間雲には，星間ガスが周囲の恒星の光を受けて自ら発光したり，星間塵が光を反射したりすることで明るく見えるものがあります。これらを**散光星雲**といいます。

また，背後にある明るい天体の光を星間塵が吸収することで暗く見えるものもあり，これは**暗黒星雲**と呼ばれます。

知っておこう

分子雲には，水素分子のほかに一酸化炭素（CO）や水（H_2O），アンモニア（NH_3），エタノール（C_2H_5OH）など，さまざまな分子が存在することがわかっています。

・**主系列星の形成**

T タウリ型星への星間物質の集積や重力による収縮が進むと，やがて中心部の温度が（6000K ／ 1000 万 K）を超えて水素の核融合が起こるようになる。この状態の恒星を**主系列星**という。

主系列星は，重力により収縮しようとする力と，核融合の熱により膨張しようとする力がつり合った安定な恒星である。

恒星の終末

・**赤色巨星**

主系列星の中心核で核融合が進むと，中心核の主成分がヘリウムとなる。中心核では核融合が行われなくなり，その外側の殻状の領域で水素の核融合が起こるようになる。このとき恒星は大きく膨張し，表面温度は（上昇 ／ 低下）する。この状態の恒星を**赤色巨星**という。

赤色巨星の中心核の温度が約 1 億 K を超えるとヘリウムの核融合が始まり，（炭素や酸素 ／ マグネシウムや鉄）が生成される。

・**惑星状星雲と白色矮星**

赤色巨星は活発な質量放出を起こし，やがて外層を失う。このとき，放出された外層部が恒星からの電磁波を受けて輝いて見えるものを**惑星状星雲**という。

外層を失った中心核は，核融合を起こさず冷えていく。この段階の恒星を**白色矮星**という。

まとめ

・原始星周辺の星間物質が減少し，可視光線で観測されるようになったものを＿＿＿＿＿＿＿という。

・太陽は現在＿＿＿＿＿の段階にあり，やがて＿＿＿＿＿の中心核が形成されると赤色巨星になる。

・赤色巨星の外層が放出され，電磁波を受けて輝いているものを＿＿＿＿＿＿，残された中心核を＿＿＿＿＿という。

Chapter2　演習問題

ここでは，太陽質量の恒星が原始星や主系列星である期間の長さを見積もってみましょう。

問題(1)　原始星について述べた次の文章中の空欄［　**ア**　］～［　**カ**　］に入る数値を整数で答えましょう。

原始星は，重力のエネルギーにより輝いている。太陽程度の質量をもつ原始星が輝き続ける時間を大まかに見積もってみよう。

原始星の質量を M，原始星の半径を R，万有引力定数を G とすると，原始星のもつ重力のエネルギー E は

$$E = \frac{GM^2}{R} \quad \cdots\cdots\cdots ①$$

と見積もることができる。

また，原始星の光度 L は，表面温度をT，シュテファン・ボルツマン定数を σ とすると

$$L = \sigma T^{[\ \text{ア}\ ]} \cdot 4\pi R^{[\ \text{イ}\ ]} \quad \cdots\cdots\cdots ②$$

と表せる。

このとき，①式と②式より，原始星が重力のエネルギーをすべて電磁波として放射するためにかかる時間 t の目安は

$$t = \frac{E}{L}$$

$$= \frac{GM^{[\ \text{ウ}\ ]}}{4\pi\sigma T^{[\ \text{エ}\ ]} R^{[\ \text{オ}\ ]}}$$

である。$G = 7 \times 10^{-11}\text{m}^3/(\text{kg} \cdot \text{s}^2)$，$\pi = 3$，$\sigma = 6 \times 10^{-8}\ \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$，$M = 2 \times 10^{30}\text{kg}$，$T = 6 \times 10^3\text{K}$，$R = 7 \times 10^8\text{m}$，1 年 $= 3 \times 10^7$ 秒とすると，

$$t \fallingdotseq 9 \times 10^{14}\text{s}$$

$$\fallingdotseq 3 \times 10^{[\ \text{カ}\ ]} \text{年}$$

と求められる。

知っておこう

太陽が原始星〔原始太陽〕であった期間は，およそ 3000 万年だとされています。

問題⑵　主系列星について述べた次の文章中の空欄［　**キ**　］・［　**ク**　］に入る数値を整数で答えましょう。

主系列星は，水素の核融合によってエネルギーを生み出している恒星である。太陽が主系列星でいる間にどの程度の水素を消費するのかを考えてみよう。

水素の核融合では，水素原子核の質量の和よりもヘリウム原子核の質量の方が 0.7% だけ小さい。この質量の差を Δm，光速度を c，核融合によって生じるエネルギーを E とすると，

$$E = \Delta mc^2$$

と表せる。

ここで，仮に質量 M の太陽の全体が水素でできているとして，そのすべてが核融合によって消費されるとする。このとき，太陽の質量の 0.7% が核融合によってエネルギーに変換されると考えて，核融合によって生じるエネルギーは

$$E = (7 \times 10^{[\text{キ}]})Mc^2 \qquad \cdots\cdots\cdots③$$

と表せる。

②式と③式より，太陽がすべての水素を核融合に消費する時間を t とおくと

$$t = \frac{E}{L}$$

$$= \frac{(7 \times 10^{[\text{キ}]})Mc^2}{4\pi\sigma T^{[\text{ア}]}R^{[\text{イ}]}}$$

である。$M = 2 \times 10^{30}$ kg，$c = 3 \times 10^8$m/s，$\pi = 3$，$\sigma = 6 \times 10^{-8}$W/(m^2・K^4)，$T = 6 \times 10^3$K，$R = 7 \times 10^8$m，1 年 $= 3 \times 10^7$ 秒 とすると，

$$t \fallingdotseq 2 \times 10^{18}\text{s}$$

$$\fallingdotseq 7 \times 10^{[\text{ク}]}\text{年}$$

と求められる。

知っておこう

太陽が主系列星である期間は，およそ 100 億年だとされています。

太陽が形成されたのは約 46 億年前なので，太陽の主系列星としての期間のうち，現在はほぼ中間地点にあたることになりますね。

第 20 講　PART5　確認問題

問 1　恒星の形成について，次の問いに答えよ。

(1)　星間ガスの主成分は何か。最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　水素とヘリウム　　②　水素と酸素
③　ヘリウムと炭素　　④　酸素と炭素

(2)　星間物質が周囲より密になった領域を何というか。最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　星間塵　②　原始星　③　星間雲　④　彗星

(3)　原始星の周囲の星間物質が減少して，中心の恒星を可視光線で観測できるようになった段階の恒星を何というか。最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　散光星雲　　②　暗黒星雲
③　主系列星　　④　T タウリ型星

(4)　中心部の温度が 1000 万 K を超えて水素の核融合が起こるようになった状態の恒星を何というか。最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　主系列星　　②　T タウリ型星
③　赤色巨星　　④　白色矮星

(5)　恒星の中心核でヘリウムの核融合が始まるのはどの段階か。最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　原始星　　②　惑星状星雲
③　白色矮星　　④　赤色巨星

(6) 太陽程度の質量をもつ恒星が進化する順序として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

① 原始星→主系列星→白色矮星→赤色巨星→ T タウリ型星

② 原始星→ T タウリ型星→主系列星→赤色巨星→白色矮星

③ T タウリ型星→原始星→主系列星→赤色巨星→白色矮星

④ 主系列星→ T タウリ型星→白色矮星→原始星→赤色巨星

第 20 講　恒星

PART1　天体の等級

問題(1)　ア：$\frac{1}{100}$　イ：n　ウ：$\frac{m}{5}$

問題(2)　エ：2　オ：$\left(\frac{d_2}{d_1}\right)^2$

問題(3)　カ：10　キ：$\frac{m-M}{5}$　ク：$\left(\frac{10}{d}\right)^2$　ケ：5　コ：5

PART2　恒星のスペクトル型

問題(1)　絶対温度，反比例，ウィーンの変位則，高く，低い，大気，Hα線，水素原子，高い

問題(2)　フラウンホーファー線

問題(3)　G 型

PART3　HR 図

問題(1)　ア：σT^4　イ：$4\pi R^2$　ウ：$4\pi\sigma T^4 R^2$　エ：$4\pi\sigma T_S^4 R_S^2$　オ：4　カ：2

問題(2)　【※図参照】

問題(3)　大きい，M 型，0.01 倍，大きい

PART4　主系列星の質量と寿命

問題(1)　比例，反比例

ア：M　イ：L　ウ：M_S　エ：L_S　オ：$\frac{M}{M_S}$　カ：$\frac{L}{L_S}$

問題(2)　キ：4

問題(3)　100，10000，10，1000 万，10，3000 億

PART5　太陽質量の恒星の一生

問題(1)　ア：4　イ：2　ウ：2　エ：4　オ：3　カ：7

問題(2)　キ：−3　ク：10

PART6　さまざまな恒星の一生

問題(1)　ア：$\frac{1}{16}$　イ：10000　ウ：160000　エ：400

2

オ：$\frac{1}{100}$

地球と同程度

問題(2)　100 万分の 1，1.4，10^{6}

問題(3)　60000，1.4，5×10^{14}

PART7　星団

問題(1)　暗く，低い，大きく，短い，大きな，種族Ⅱ，星団 X

問題(2)　散開星団，散光星雲，球状星団，星団 Y，星団 X

PART8　連星

問題(1)　15

問題(2)　第 3 法則，2.0

ア：3.2　イ：1.4　ウ：0.6

第 20 講　PART5　確認問題　解答

問 1

(1)　①

解説：
星間ガスはおもに水素とヘリウムからなる。

(2)　③

解説：
星間物質は，通常 1 個 /cm^3 未満の低密度である。星間物質が周囲より密 (数個 /cm^3 ～ 10^2 個 /cm^3 程度) になった領域を星間雲という。

(3)　④

解説：
原始星が形成された時点では周囲の分子雲の密度が大きく，可視光線で観測することはできない。原始星の周囲の星間物質が減少すると，中心の恒星を可視光線で観測できるようになる。この段階を T タウリ型星という。

(4)　①

解説：
T タウリ型星への星間物質の集積や重力による収縮が進むと，中心部の温度が 1000 万 K を超え，水素の核融合が始まる。この状態の恒星を主系列星という。現在の太陽は主系列星である。

⑸　④

解説：
赤色巨星の中心核の温度が約 1 億 K を超えると，ヘリウムの核融合が始まり，炭素や酸素が生成される。

⑹　②

解説：
太陽程度の質量をもつ恒星は，
原始星→ T タウリ型星→主系列星→赤色巨星→白色矮星の順に進化する。